

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-127139

(43)Date of publication of application : 16.05.1997

(51)Int.Cl.

G01N 37/00
G01B 21/30
G01R 1/067
H01J 37/28

(21)Application number : 07-284983

(71)Applicant : SHIMADZU CORP

(22)Date of filing : 01.11.1995

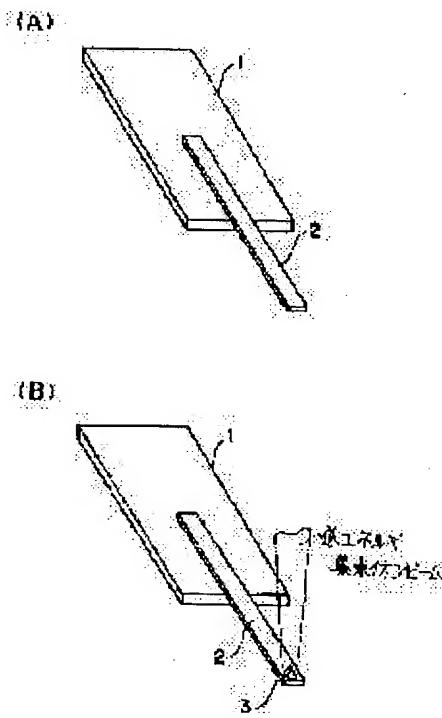
(72)Inventor : UEDA MASAHIRO
NAGAMACHI SHINJI

(54) MANUFACTURE OF CANTILEVER TYPE MINUTE PROBE AND CANTILEVER TYPE MINUTE PROBE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enlarge the degree of selection of a projection material and its utilizing efficiency by continuously projecting a low energy focused ion beam to one point near the free end of a minute cantilever under a vacuum condition to form a minute needle-shaped projection.

SOLUTION: After a Si₃N₄ thin film is formed on the surface of a substrate of Si or the like, it is patterned into the form of a cantilever 2, and moreover an unnecessary part is removed by etching the back side of the substrate to form into the form of a stationary substrate 1. Next, one point near the free end of the cantilever 2 is continuously irradiated with a low energy focused ion beam under a vacuum condition to evaporately form a minute needle- shaped projection 3, for instance, so that the diameter of the base or one side and height may be alike about 20-30μm. As an evaporateable material, almost all metals and semiconductors can be utilized for ion species, and the single substance or alloy of Au, Cu, Nb and Ge are included in them. Since the projection 3 is evaporately formed on the surface of the flat cantilever 2, the utilizing efficiency of the material can be improved.



h

c g

e e

g

h

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

9-127139

JPO and NCIPPI are not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. *** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the cantilever mold minute probe which can be obtained by the manufacture approach which SPMs (probe scan mold microscope), such as STM (scanning tunneling microscope) and AFM (atomic force microscope), use, and which can be used as a probe or the magnetic head and the manufacture approach of a cantilever mold minute probe.

[0002]

[Description of the Prior Art] STM which measures the surface state of a sample by operating a probe, keeping constant the tunnel current which flows between a probe and a device under test, In scan mold microscopes including probes, such as AFM which operates a probe, keeping constant the variation rate (bending) of the probe resulting from the force of acting between a device under test and a probe. Generally the so-called cantilever mold minute probe to which the end was equipped with the minute needlelike projection near the free end of the minute cantilever fixed to the substrate is used, and it is ***. As an approach of manufacturing such a cantilever mold minute probe, the approach [like] is learned next conventionally.

[0003] One is the approach of being called a replica method which uses the etching anisotropy using a single crystal. The outline of the process is typically shown in drawing 1 - drawing 4. first, a sectional view is shown in drawing 1 (A), and a top view is shown in (B) -- as -- the front face of Si single crystal substrate 10 -- SiO₂ etc. -- minute rectangle hole 11a is formed in a bonnet and its mask 11 with a mask 11. Next, through the mask 11, by etching Si single crystal substrate 10 using etchant, such as KOH, TMAH (tetramethylammonium hydroxide), a hydrazine, and EDP (ethylenediamine pyrocatechol), as a sectional view is shown in drawing 2 (A) and a top view is shown in (B) using the etching anisotropy, hollow 10a of rectangular-head drill type is formed. next, the hollow 10a is embedded -- as -- Si₃N₄ etc. -- by forming the film and carrying out patterning of the film using a photolithography technique, as a top view is shown in the drawing 3 (A) sectional view and (B), it leaves the film 12 of the shape of a strip of paper which the end section became depressed and entered in 10a. Subsequently, Si₃N₄ by which the end was fixed to the Si plinth 100 as by removing a garbage including the formation part of hollow 10a by etching from the rear-face side of the Si single crystal 10 showed a perspective view to drawing 4 Near the free end of the cantilever 101 of make, the cantilever mold minute probe of the structure equipped with the minute needlelike projection 102 of rectangular-head drill type is obtained.

[0004] Other one of the manufacture approaches of the conventional cantilever mold minute probe is the approach of using side etching. If that amount of etching is large in case this approach tends to carry out patterning of the substrates 20, such as Si, by etching through the masks 21, such as resist film, as typically shown in drawing 5 (A) and (B) Although the phenomenon called side etching to which etching advances also in the lower part of a mask 21 arises It is the approach of forming minute probes, such as a cone form or a pyramid form, near the free end of a cantilever by using this phenomenon positively and choosing the configuration of a mask 21, magnitude, etching conditions, etc. suitably.

[0005] Moreover, the etching effectiveness as an interaction on the front face of the matter is large, and

is applied as ion beam milling, and the ion beam which has the energy Number keV - near 50keV conventionally is Ga⁺ of 20-50keV especially. A focused ion beam can narrow down a beam diameter to submicron order, and the milling processing technique of a high resolution using this is put in practical use. according to this technique, since it is markedly alike as compared with a photolithography technique and a high processing degree of freedom is obtained, the approach of carrying out additional processing of the part for the minute needlelike height of the cantilever mold minute probe obtained by said each process carried out etc. with this ion beam milling technique is put in practical use.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, in the approach which used a replica method and side etching among the manufacture approaches of the conventional cantilever mold minute probe, since it is an approach using ingredient chemical property, an applicable ingredient has the fault that there is much constraint. The cantilever mold minute probe used as probes, such as the former, for example, AFM etc., by considering that as a cause is Si and Si₃N₄ which can be manufactured by these approaches. It is not put in practical use with the construction material of an except.

[0007] Moreover, there is a fault that the purity of a minute probe will fall, in the approach of carrying out additional processing of the cantilever mold minute probe using an ion beam milling technique. That is, since there is an ion-implantation operation other than an etching operation, it is not avoided by the ion beam of 20-50keV that Ga used for milling processing mixes into a probe ingredient as an impurity. That a probe ingredient is physical or when using chemical property positively, disadvantage may be produced because the purity of a probe ingredient falls. For example, when the magnetic substance tends to be used for a probe ingredient and it is going to obtain the cantilever mold minute probe of a magnetic force detection mold, permeability, coercive force, etc. become small because the purity of the magnetic substance falls, and sensibility will fall as a result.

[0008] Furthermore, in the conventional manufacture approach, in order to obtain the cantilever mold minute probe of request structure beginning to delete the all from a bulk-like ingredient, there is a fault that the utilization effectiveness of an ingredient is remarkable and it is low.

[0009] The selectivity of this invention of the construction material of the minute needlelike projection which was made in view of such the actual condition, and is formed near the free end of a cantilever is very large, and, moreover, it aims at the manufacture approach of a cantilever mold minute probe with the large utilization effectiveness of an ingredient, and offering the cantilever mold minute probe which can be obtained by it and which has the minute needlelike projection of the construction material which is not yet put in practical use as compared with each conventional process.

[0010]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, by carrying out continuous irradiation of the focused ion beam of low energy in a vacuum to one near [where the end was fixed to the substrate] the free end of a minute cantilever, the manufacture approach of the cantilever mold minute probe of this invention makes the ion vapor-deposit directly, and is characterized by forming the minute needlelike projection which it becomes from the simple substance, alloy, or compound of a metal or a semi-conductor.

[0011] By the manufacture approach of the cantilever mold minute probe of this invention, additional processing may be carried out to the minute needlelike projection formed as mentioned above by the ion milling using the focused ion beam which uses as an ion kind the element contained in the minute needlelike projection concerned.

[0012] Furthermore, the cantilever mold minute probe of this invention is characterized by forming the minute needlelike projection which consists of an alloy which combined the simple substances of these elements formed when an end ~~vapor-deposited~~ the focused ion beam of Au, Cu, Nb, Ti, Co, nickel, Fe, Ag, aluminum, Pd, Pt, or germanium directly near the free end of the minute cantilever fixed to the substrate, or these elements.

[0013] Here, in the manufacture approach of this invention, construction material is arbitrary in the manufacture approach list of the cantilever body except a minute needlelike projection, and the construction material of a cantilever body is not limited to it in the cantilever mold minute probe of this

invention.

[0014]

[Function] The data that the evaporation rate on a target flat surface reflects this invention in the beam profile of an ion beam with focused ion beam direct vacuum deposition, and the beam profile of a focused ion beam tend to form a minute needlelike projection there using resembling Gaussian distribution by irradiating a low energy focused ion beam in a vacuum one near the free end of a minute cantilever.

[0015] That is, if a focused ion beam is irradiated on the flat front face of a target, the evaporation rate to the target of the ion will reflect the beam profile of an ion beam, i.e., distribution of a consistency. If this density distribution is approximated to Gaussian distribution, therefore continuous irradiation of such a focused ion beam is carried out to one point of a target at the basis of low energy, as shown in drawing 6 (A), in the time of an exposure of focused ion beam B, the thin film F with which the amount of center section rose on the front face of Target T according to the density distribution of Beam B will be formed (nuclear growth). In order to lead a focused ion beam to Target T by low energy, the electric field for the slowdown for slowing down an ion beam B just before Target T are formed here, but by forming in Target T the thin film F (nucleus) with which the amount of [above-mentioned] center section rose, distortion and a divergence field are generated so that the electric-field distribution which is a slowdown field for an ion beam B may meet a nuclear configuration. Line of electric force f and the equipotential line p show the condition to drawing 6 (A).

[0016] If the exposure of a focused ion beam is further continued in the state of generation of such a divergence field, as the evaporation rate difference of a core and a periphery is promoted and it is shown in drawing 6 (B), the amount of center section will rise further, and distortion of electric-field distribution will also increase, and the evaporation rate difference of a part for a center section and a circumference part will spread further (nuclear growth).

[0017] And eventually, as shown in drawing 6 (C), only a central punctiform field grows and the minute needlelike projection N with an acute configuration is obtained. Therefore, according to the manufacture approach of this invention, in order not to begin to delete like the conventional process and to carry out vacuum evaporation formation on the front face of a flat cantilever, the utilization effectiveness of the minute needlelike projection N of an ingredient improves remarkably.

[0018] Moreover, according to the focused ion beam direct vacuum deposition used in the manufacture approach of this invention, the cantilever mold minute probe which could almost use all metals and semi-conductors as an ion kind, therefore was equipped with the minute needlelike projection of the various construction material which can be vapor-deposited with focused ion beam direct vacuum deposition near the free end as construction material of the above-mentioned minute needlelike projection N can be obtained. Moreover, the formation of a minute probe which consists of the alloy or compound of a metal or a semi-conductor is also possible by using two or more ion kinds.

[0019] Even if the ion for the ion milling is poured in into the minute needlelike projection N by facing performing additional processing in order to attain radicalization and pillar-shaped-ization more here to the minute needlelike projection N obtained by the above manufacture approach, and performing ion milling using the focused ion beam which uses as an ion kind the element contained in the minute needlelike projection N, this does not serve as an impurity.

[0020] On the other hand, although the cantilever mold minute probe of this invention is equipped with the minute needlelike projection manufactured by the above-mentioned approach near the free end of a cantilever, it is characterized by the point of having the minute needlelike projection which consists of construction material which cannot be acquired depending on the conventional manufacture approach, i.e., the construction material which is not yet put in practical use. Namely, Si and Si₃N₄ conventionally put in practical use as a minute needlelike projection On the ingredient and concrete target which can remove and can vapor-deposit with focused ion beam direct vacuum deposition It is a cantilever mold minute probe with the structure where the minute needlelike projection which consists of simple substances of the thing of arbitration or these alloys among the elements of Au, Cu, Nb, Ti, Co, nickel, Fe, Ag, aluminum, Pd, Pt, or germanium was formed near the free end of a cantilever. By

using the cantilever mold minute probe which has the minute needlelike projection which consists of such construction material, it can consider as the probe using the physical properties of the ingredient.

[0021]

[Embodiment of the Invention] Drawing 7 is the process explanatory view of the manufacture approach of this invention. First, as shown in drawing 7 (A), the minute cantilever 2 by which the end was fixed to the fixed substrate 1 is created. Although ** the construction material of this fixed substrate 1 and a cantilever 2, especially it is not limited, it uses the fixed substrate 1 as Si substrate as that example, and it is Si₃N₄ about a cantilever 2. It can consider as a thin film. Although not especially limited about the approach of creating the structure shown in this drawing 7 (A), moreover, as that example It is Si₃N₄ uniformly on the front face of substrates, such as Si. After forming a thin film, patterning of this is carried out to the configuration of the cantilever 2 shown in drawing 7 (A) by the photolithography technique. Furthermore, etching from the rear-face side of a substrate can remove the garbage of a substrate, and the approach of making it into the configuration of the fixed substrate 1 shown in this drawing can be adopted. Here, the width-of-face dimension of a cantilever 2 is about 100 micrometers.

[0022] Next, by carrying out continuous irradiation of the focused ion beam of low energy into a vacuum to one near the free end of the cantilever 2 of drawing 7 (A), as shown in this drawing (B), the minute needlelike projection 3 is formed near the free end of a cantilever 2. As for the magnitude of this minute needlelike projection 3, the diameter of a base or one side of height is 20-30 micrometers similarly in about 20-30 micrometers.

[0023] The example of a configuration of the focused ion beam equipment suitable for carrying out continuous irradiation of the focused ion beam of such low energy to drawing 8 is shown. The focused ion beam equipment in this example As the liquid metal ion source 81 heated at a heater, the condensing lens 83 which converges the ion by which contiguity arrangement was carried out, and which pulled out and was pulled out from an electrode 82 and the ion source 81 on the ion output port, and a mass eliminator The ** ExB mass filter 84 and the beam aperture 85, and a beam are scanned. The objective lens 87 on which an ion beam is converged just before the deflecting electrode 86 for positioning an exposure location and Target T, the target holder 88 which supports Target T, and the stage 89 which supports the target holder 88 through Insulator G are used as main components. These are held in the vacuum chamber 80.

[0024] Electropositive potential is given to the liquid metal ion source 81 with an accelerating electrode 91, it pulls out with this liquid metal ion source 81, and sufficient potential difference to pull out the ion within the ion source 81 is given among both between electrodes 82.

[0025] Moreover, the slowdown power source 92 is connected to the target holder 88 electrically supported by floating to other components with Insulator G, and slowdown electric field are formed between the external electrodes by the side of this target holder 88 and the target holder 88 of the objective lens 87 which is an electrostatic lens with three-sheet electrode structure. In addition, 93 is a heater power source for heating the liquid metal ion source 81, and 94 is a Faraday cup for a cylinder etc. being equipped, being pulled out by at any time in an ion beam, and carrying out the monitor of the ion beam current.

[0026] While the ion pulled out and accelerated from the liquid metal ion source 81 by the above configuration converges with a condensing lens 83 Only request ion is sorted out by the ExB mass filter 84 and the beam aperture 85 of the next step. Furthermore, although the beam which consists of the single kind of ion converges further and carries out image formation to a minute spot and the front face of the target T on the *** target holder 88 with an objective lens 87 through a deflecting electrode 86 the final energy of only the difference of the potential of the ion source 81 according [the ion beam which ion is slowed down by the slowdown electric field formed just before Target T, and reaches Target T after all] to the acceleration power source 91, and the target potential by the slowdown power source 92 -- with, Target T is reached.

[0027] The minute needlelike projection 3 shown in drawing 7 (B) is obtained by slowing down and carrying out continuous irradiation of the ion beam which consists of a desired ion kind at predetermined low energy using focused ion beam equipment with such a slowdown function to one

near the free end of the cantilever 2 shown in drawing 7 (A). as a focused ion beam -- Au+ Using a beam, by carrying out continuous irradiation of this to one near the free end of a cantilever 2 with 50eV energy, the minute needlelike projection 3 which makes Au of a high grade construction material is formed of the process shown in said drawing 6 (A) - (C) carried out, and the cantilever mold minute probe for AFM is obtained according to it.

[0028] To a device under test, it is inactive chemically to set the minute needlelike projection in the cantilever mold minute probe for AFM to Au here, it means that all chemical reactions do not arise between device under tests, and is especially chemically effective on the occasion of measurement of an activity sample. Moreover, when it uses for STM although a device under test is not damaged and conductive degradation by oxidation moreover does not arise therefore since it is comparatively soft, there is an advantage that a life becomes long.

[0029] Moreover, as a low energy focused ion beam, if the ion beam of the magnetic substance, such as Co+ and Co₂+, is used, the cantilever mold minute probe with the same structure as the sensor for AFM for MFM (magnetic force microscope) will be obtained. That is, although magnetic distribution of a device under test is measured by scanning a probe in MFM, maintaining at a constant rate the magnetic force which acts between a device under test and a probe, and it is necessary to be the magnetic substance as the probe, the thing of structure equivalent to the sensor for AFM as such a probe is obtained by this invention. And the cantilever mold minute probe which has the minute needlelike projection of such the magnetic substance can be used also as the magnetic head, and can attain a large miniaturization as compared with the magnetic head of the structure known now.

[0030] In the manufacture approach of this invention, the ingredient which constitutes the minute needlelike projection 3 is not restricted to the above example, but if it is an ingredient which can be ionized and can be made into a focused ion beam, it can use the ingredient of arbitration. Moreover, the minute needlelike projection 3 which consists of these ion kinds of an alloy or a compound can be formed by irradiating the low energy focused ion beam which consists of two or more sorts of ion kinds alternation or simultaneous. In this time as an ingredient in which such focused-ion-beam-izing is possible The metal of Cu, Nb, Ti, Co, nickel, Fe, Ag, aluminum, Pd, and Pt besides above Au and Co, And the semi-conductor of Si and germanium is checked, therefore such an element can be created as construction material of the minute needlelike projection 3 in the manufacture approach of this invention with the alloy or compound which is a simple substance or was combined suitably.

[0031] Moreover, the cantilever mold minute probe of this invention can be made into all the construction material except Si conventionally put in practical use among the simple substance of the above-mentioned element, the alloy, or the compound as construction material of the minute needlelike projection 3.

[0032] Thus, in relation with combination with a device under test, or the physical properties which it is going to measure, enlarging the variation of the construction material of the minute needlelike projection 3 can make it possible to use the cantilever mold minute probe which has the minute needlelike projection 3 of the optimal construction material, and it can extend the measuring object (a sample, physical properties) by various kinds SPM.

[0033] Here, in the above-mentioned gestalt of operation, although the example which made the flat side the formation part of the minute needlelike projection 3 of a cantilever 2 was described, the location which should form the minute needlelike projection 3 on a cantilever 2 may be made into the configuration which rose beforehand.

[0034] That is, first, as the explanatory view of a production process is shown in drawing 9, as shown in this drawing (A), climax section 2a is beforehand formed in the location which forms the minute needlelike projection 3 of a cantilever 2. When this supports a cantilever 2 to the target holder 88 of the focused ion beam equipment illustrated to drawing 8, as the equipotential line p is shown in drawing 9 (A), a slowdown field becomes what was distorted from the beginning. If a low energy focused ion beam is irradiated continuously in this location, the evaporation rate of ion will be combined with the density distribution of that beam, and will rise, the core of section 2a will become large as compared with a periphery, and as an operation equivalent to the case where a focused ion beam is irradiated is

acquired from the above mentioned condition of drawing 6 (B), consequently it is shown in drawing 9 (B), minute needlelike projection 3' which has an acute head on climax section 2a is obtained.

[0035] Next, how to carry out additional processing is described to the minute needlelike projection 3 or 3' of a cantilever mold minute probe obtained according to the gestalt of each implementation of the above this invention approach. Although a sample with the big line and tooth-space structure of an aspect ratio as shown in drawing 10 (A), and this are the typical structures of an optical grating, the fidelity of an AFM image falls also by the minute needlelike projection obtained by the minute needlelike projection 3 or 3' obtained by the manufacture approach of above-mentioned this invention, or the above mentioned conventional manufacture approach when AFM observation of such a sample was carried out. That is, the configuration of the minute needlelike projection obtained by the manufacture approach of this invention and each conventional manufacture approach turns into a configuration near a pyramid or a cone. When measuring the sample which has a profile like drawing 10 (A) by such minute needlelike projection of a drill form, as shown in this drawing (B), the minute needlelike projection N and a sample interfere and the fidelity of an AFM image gets worse. In such a case, by carrying out additional processing of the configuration of the minute needlelike projection N to the form where it is more near in the shape of a column, as shown in drawing 10 (C), interference with the minute needlelike projection N and a sample is reduced, and it becomes possible to improve the fidelity of an AFM image.

[0036] Although it is as having described above that the ion milling technique using Ga ion will be adopted, and Ga will be conventionally poured into a minute needlelike projection as an impurity as the result on the occasion of such additional processing, in this invention, it is performing ion milling by the focused ion beam using the ion of the element contained in the construction material of the minute needlelike projection N, and mixing of such an impurity is prevented.

[0037] The example of the additional processing is shown in drawing 11. When the minute needlelike projection 3 created by the manufacture approach of above mentioned this invention in this example is Au, it is Au+ of energy 20keV as a focused ion beam for ion milling. An ion beam is used. In this case, as shown in drawing 11 (A), that beam is circularly scanned with the deflecting electrode 86 of the focused ion beam equipment which made the beam diameter smaller and illustrated it to drawing 8 rather than the focused ion beam when forming the minute needlelike projection 3. Thereby, the minute needlelike projection 3 is processed in the shape of [with a more high aspect ratio] a column, as shown in this drawing (B), and the fidelity of the AFM image is improved also for a sample as shown in drawing 10 (A).

[0038] The point which should be noted especially in this approach is a point which carries out ion milling by the ion beam of the element which constitutes the minute needlelike projection 3, even if the ion used for ion milling is poured into the minute needlelike projection 3 by this, it stops becoming an impurity and the purity of the minute needlelike projection 3 does not fall by additional processing.

[0039] moreover, the focused ion beam which consists the pyramid obtained by said this invention approach carried out, or the conic minute needlelike projection 3 or conic 3' of ion of the element contained there like the above as other gestalten of the additional processing of such a minute needlelike projection -- for example, an unsymmetrical configuration is also processible by shaving off a certain specific side face.

[0040] Moreover, it is also possible to pour a specific metallic element into a minute needlelike projection as an impurity intentionally as application of this invention. That is, application of pouring metals, such as Au and aluminum, into the minute needlelike projection made from Si, and raising conductivity, for example to it is possible.

[0041]

[Effect of the Invention] As mentioned above, according to this invention approach, since a minute needlelike projection is formed there by irradiating a low energy focused ion beam continuously near the free end of a cantilever to one point, the cantilever mold minute probe which has the minute needlelike projection which consists of almost all metals and semi-conductors that can be used as an ion kind of a focused ion beam can be obtained. And it can obtain a cantilever mold minute probe with the minute

needlelike projection of high purity while it can raise the utilization effectiveness of an ingredient substantially, since it does not begin to delete the minute needlelike projection from a base material like the conventional approach.

[0042] Moreover, the result from which the selectivity of the construction material of a minute needlelike projection serves as size substantially as compared with the conventional manufacture approach, By obtaining the cantilever mold minute probe which consists of an ingredient which is not put in practical use conventionally, for example, forming the minute needlelike projection of the magnetic substance, as a probe for magnetic force microscopes A cantilever mold minute probe usable as the magnetic head can be obtained, and a device under test is received by using Au. Chemically or with inactive Without damaging a device under test, since it is soft, since there is moreover no conductive degradation by oxidization, it uses for STM and the long cantilever mold minute probe of a life is obtained.

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-127139

(43)公開日 平成9年(1997)5月16日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 01 N	37/00		G 01 N 37/00	C
G 01 B	21/30		G 01 B 21/30	G
G 01 R	1/067		G 01 R 1/067	Z
H 01 J	37/28		H 01 J 37/28	A

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21)出願番号	特願平7-284983	(71)出願人	000001993 株式会社島津製作所 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
(22)出願日	平成7年(1995)11月1日	(72)発明者	上田 雅弘 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所三条工場内
		(72)発明者	長町 信治 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所三条工場内
		(74)代理人	弁理士 西田 新

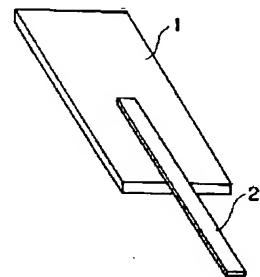
(54)【発明の名称】 カンチレバー型微小探針の製造方法およびカンチレバー型微小探針

(57)【要約】

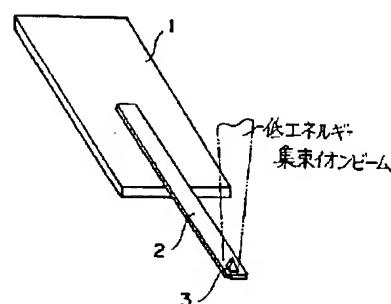
【課題】 カンチレバーの自由端近傍に形成される微小針状突起の材質の選択度が大きく、従来方法に比して材料の利用効率が高いカンチレバー型微小探針の製造方法と、それにより得られる、従来実用化されていない材質の微小針状突起を持つカンチレバー型微小探針を提供する。

【解決手段】 一端が基板1に固定された微小なカンチレバー2の自由端近傍の一点に、低エネルギー集束イオンビームを連続照射することによってそのイオンを直接蒸着させ、微小針状突起3を形成する。

(A)



(B)



【特許請求の範囲】

【請求項1】一端が基板に固定された微小カンチレバーの自由端近傍に、微小な針状突起が形成されてなるカンチレバー型微小探針を製造する方法であつて、上記微小カンチレバーの自由端近傍の一点に、真空中にて低エネルギーの集束イオンビームを連続照射することによりそのイオンを直接蒸着させて、金属または半導体の単体もしくは合金または化合物からなる微小針状突起を形成することを特徴とするカンチレバー型微小探針の製造方法。

【請求項2】一端が基板に固定された微小カンチレバーの自由端近傍に、微小な針状突起が形成されてなるカンチレバー型微小探針であつて、その微小な針状突起が、微小カンチレバーの自由端近傍に、Au, Cu, Nb, Ti, Co, Ni, Fe, Ag, Al, Pd, Pt, またはGeの集束イオンビームを直接蒸着することによって形成された、これらの元素の単体、もしくはこれらの元素を組み合わせた合金であることを特徴とするカンチレバー型微小探針。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばSTM(走査型トンネル顕微鏡)、AFM(原子間力顕微鏡)等のSPM(探針走査型顕微鏡)の用いる探針として、あるいは磁気ヘッドとして用いることのできるカンチレバー型微小探針の製造方法と、その製造方法により得ることのできるカンチレバー型微小探針に関する。

【0002】

【従来の技術】探針と被測定試料との間に流れるトンネル電流を一定に保ちつつ探針を操作することによって試料の表面状態を測定するSTMや、被測定試料と探針との間に作用する力に起因する探針の変位(撓み)を一定に保ちつつ探針を操作するAFM等をはじめとする、探針走査型顕微鏡においては、一般に、一端が基板に固定された微小なカンチレバーの自由端近傍に微小な針状突起を備えた、いわゆるカンチレバー型微小探針が用いられる。このようなカンチレバー型微小探針を製造する方法としては、従来、次のような方法が知られている。

【0003】一つは、単結晶を用いて、そのエッチング異方性を利用する、レプリカ法と称される方法である。その工程の概略を図1～図4に模式的に示す。まず、図1(A)に断面図、(B)に平面図を示すように、Si単結晶基板10の表面をSiO₂等のマスク11で覆い、そのマスク11には微小な矩形孔11aを形成する。次に、そのマスク11を介して、KOH, TMAH(テトラメチルアンモニウムハイドロオキサイド)、ヒドラジン、EDP(エチレンジアミンピロカテコール)等のエッチャントを用いてSi単結晶基板10をエッチングすることにより、そのエッチング異方性を利用して図2(A)に断面図、(B)に平面図を示すように四角

錐形の溝み10aを形成する。次に、その溝み10aを埋め込むようにSi₃N₄等の膜を成膜し、その膜をフォトリソグラフィ技術を用いてパターニングすることによって、図3(A)断面図、(B)に平面図を示すように、一端部が溝み10a内に入り込んだ短冊状の膜12を残す。次いでSi単結晶10の裏面側からのエッチングにより、溝み10aの形成部分を含めた不要部分を除去することによって、図4に斜視図を示すように、Si台座100に一端が固定されたSi₃N₄製のカンチレバー101の自由端近傍に、微小な四角錐形の針状突起102を備えた構造のカンチレバー型微小探針を得る。

【0004】従来のカンチレバー型微小探針の製造方法の他の一つは、サイドエッチングを利用する方法である。この方法は、図5(A), (B)に模式的に示すように、Si等の基板20をレジスト膜等のマスク21を介してエッチングによってパターニングしようとする際に、そのエッチング量が大きいと、マスク21の下部にもエッチングが進行するサイドエッチングと称される現象が生じるが、この現象を積極的に利用し、マスク21の形状、大きさ、エッチング条件等を適当に選ぶことで、カンチレバーの自由端近傍に円錐形または角錐形等の微小探針を形成する方法である。

【0005】また、従来、数keV～50keV付近のエネルギーを有するイオンビームは物質表面との相互作用としてのエッチング効果が大きく、イオンビームミリングとして応用されており、特に20～50keVのGa⁺集束イオンビームは、ビーム径をサブミクロンオーダーまで絞り込むことができ、これを用いた高分解能のミリング加工技術が実用化されている。この技術によれば、フォトリソグラフィ技術と比較して格段に高い加工自由度が得られることから、このイオンビームミリング技術によって、前記した各製法により得られたカンチレバー型微小探針の微小針状突起部分等を追加工する方法が実用化されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来のカンチレバー型微小探針の製造方法のうち、レプリカ法およびサイドエッチングを利用した方法においては、材料化学的性質を利用した方法であるため、適用できる材料に制約が多いという欠点がある。そのことを原因として、従来、例えばAFM等のプローブとして用いられるカンチレバー型微小探針は、これらの方法により製造可能なSiおよびSi₃N₄以外の材質では実用化されていない。

【0007】また、イオンビームミリング技術を利用してカンチレバー型微小探針を追加工する方法においては、微小探針の純度が低下してしまうという欠点がある。すなわち、20～50keVのイオンビームには、エッチング作用の他にイオン注入作用があるため、ミリング加工に用いられるGaが不純物として探針材料中に

混入してしまうことは避けられない。探針材料の純度が下がることで、探針材料の物理的あるいは化学的性質を積極的に利用する場合に、不利を生じる可能性がある。例えば探針材料に磁性体を用いて磁気力検知型のカンチレバー型微小探針を得ようとする場合、その磁性体の純度が下がることで透磁率、保磁力等が小さくなり、結果として感度が低下してしまうことになる。

【0008】更に、従来の製造方法においては、そのいずれも、バルク状の材料からの削り出しによって所望構造のカンチレバー型微小探針を得るため、材料の利用効率が著しく低いという欠点がある。

【0009】本発明はこのような実情に鑑みてなされたもので、カンチレバーの自由端近傍に形成される微小針状突起の材質の選択度が極めて大きく、しかも、従来の各製法に比して材料の利用効率の大きいカンチレバー型微小探針の製造方法と、それによって得ることのできる、未だ実用化されていない材質の微小針状突起を有するカンチレバー型微小探針を提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明のカンチレバー型微小探針の製造方法は、一端が基板に固定された微小カンチレバーの自由端近傍の一点に、真空中にて低エネルギーの集束イオンビームを連続照射することによりそのイオンを直接蒸着させて、金属または半導体の単体もしくは合金または化合物からなる微小針状突起を形成することによって特徴づけられる。

【0011】本発明のカンチレバー型微小探針の製造方法では、以上のようにして形成された微小針状突起に対して、当該微小針状突起に含まれる元素をイオン種とする集束イオンビームを用いたイオンミリングによって追加工してもよい。

【0012】更に、本発明のカンチレバー型微小探針は、一端が基板に固定された微小カンチレバーの自由端近傍に、Au, Cu, Nb, Ti, Co, Ni, Fe, Ag, Al, Pd, Pt, またはGeの集束イオンビームを直接蒸着することによって形成された、これらの元素の単体、もしくはこれらの元素を組み合わせた合金からなる微小針状突起が形成されていることによって特徴づけられる。

【0013】ここで、本発明の製造方法において、微小針状突起を除くカンチレバー本体の製造方法並びに材質は任意であり、また、本発明のカンチレバー型微小探針においても、カンチレバー本体の材質は限定されない。

【0014】

【作用】本発明は、集束イオンビーム直接蒸着法ではターゲット平面上での蒸着速度がイオンビームのビームプロファイルに反映する事実と、集束イオンビームのビームプロファイルはガウス分布に近似することを利用し

て、真空中で低エネルギー集束イオンビームを微小カンチレバーの自由端近傍の一点に照射することにより、そこに微小針状突起を形成しようとするものである。

【0015】すなわち、ターゲットの平坦な表面に集束イオンビームを照射すると、そのイオンのターゲットへの蒸着速度はイオンビームのビームプロファイル、すなわち密度の分布を反映する。この密度分布はガウス分布に近似しており、従って、このような集束イオンビームを低エネルギーのもとにターゲットの一点に連続照射すると、図6(A)に示すように、集束イオンビームBの照射当初において、ターゲットTの表面に、ビームBの密度分布に応じて中央部分が盛り上がった薄膜Fが成膜される(核の成長)。ここで、集束イオンビームを低エネルギーでターゲットTに導くためには、ターゲットTの直前にイオンビームBを減速するための減速用の電場が形成されるが、上記した中央部分が盛り上がった薄膜F(核)がターゲットTに形成されることによって、イオンビームBにとって減速場である電界分布が、核の形状に沿うように歪み、発散場が生成される。その状態を図6(A)に電気力線fと等電位線pによって示す。

【0016】このような発散場の生成状態で更に集束イオンビームの照射を継続すると、中心部と周辺部の蒸着速度差が助長され、図6(B)に示すように、更に中央部分が盛り上がり、かつ、電界分布の歪みも増大し、中央部分と周辺部分の蒸着速度差は更に広がる(核の成長)。

【0017】そして、最終的には、図6(C)に示すように、中心の点状領域だけが成長し、先鋭な形状を持つ微小針状突起Nが得られる。従って本発明の製造方法によれば、微小針状突起Nは従来の製法のように削り出すのではなく、平坦なカンチレバーの表面に蒸着形成するのであるため、材料の利用効率は著しく向上する。

【0018】また、本発明の製造方法において利用する集束イオンビーム直接蒸着法によれば、殆どあらゆる金属および半導体をイオン種として利用することができ、従って、上述の微小針状突起Nの材質として、集束イオンビーム直接蒸着法で蒸着可能な種々の材質の微小針状突起を自由端近傍に備えたカンチレバー型微小探針を得ることができる。また、複数のイオン種を用いることにより、金属または半導体の合金ないしは化合物からなる微小探針の形成も可能である。

【0019】ここで、以上の製造方法によって得られた微小針状突起Nに対し、より先鋭化や柱状化を図るべく追加工を行うに際しては、その微小針状突起Nに含まれる元素をイオン種とする集束イオンビームを用いたイオンミリングを行うことによって、そのイオンミリング用のイオンが微小針状突起N内に注入されても、これが不純物となることがない。

【0020】一方、本発明のカンチレバー型微小探針は、上記の方法によって製造される微小針状突起をカン

チレバーの自由端近傍に備えているものであるが、従来の製造方法によっては得ることのできない材質、つまり未だ実用化されていない材質からなる微小針状突起を有する点を特徴としている。すなわち、微小針状突起として、従来実用化されているSiおよびSi₃N₄を除き、かつ、集束イオンビーム直接蒸着法により蒸着可能な材料、具体的には、Au, Cu, Nb, Ti, Co, Ni, Fe, Ag, Al, Pd, Pt, またはGeの元素のうち、任意のものの単体、またはこれらの合金からなる微小針状突起がカンチレバーの自由端近傍に形成された構造を持つカンチレバー型微小探針である。このような材質からなる微小針状突起を有するカンチレバー型微小探針を用いることにより、その材料の物性を利用した探針とすることができます。

【0021】

【発明の実施の形態】図7は本発明の製造方法の工程説明図である。まず、図7(A)に示すように、固定基板1に一端が固定された微小カンチレバー2を作成する。この固定基板1とカンチレバー2の材質は特に限定されるものではないが、その一例として、固定基板1をSi基板とし、カンチレバー2をSi₃N₄薄膜とすることができる。また、この図7(A)に示した構造を作成する方法についても、特に限定されないが、その一例として、Si等の基板の表面に一様にSi₃N₄薄膜を成膜した後、これをフォトリソグラフィ技術によって図7(A)に示されているカンチレバー2の形状にパターニングし、更に、基板の裏面側からのエッチングにより基板の不要部分を除去し、同図に示されている固定基板1の形状とする方法を採用することができる。ここで、カンチレバー2の幅寸法は、例えば100μm程度である。

【0022】次に、図7(A)のカンチレバー2の自由端近傍の一点に、真空中において低エネルギーの集束イオンビームを連続照射することにより、同図(B)に示すように、カンチレバー2の自由端近傍に微小針状突起3を形成する。この微小針状突起3の大きさは、例えば底辺の直径ないしは一辺が20~30μm程度で、高さも同様に20~30μmである。

【0023】図8にこのような低エネルギーの集束イオンビームを連続照射するに適した集束イオンビーム装置の構成例を示す。この例における集束イオンビーム装置は、ヒータにより加熱される液体金属イオン源81、そのイオン取り出し口に近接配置された引き出し電極82、イオン源81から引き出されたイオンを集束させるコンデンサレンズ83、質量分離器としてのE×Bマスフィルタ84およびビームアバーチャ85、ビームを走査して照射位置を位置決めするための偏向電極86、ターゲットTの直前でイオンビームを集束させる対物レンズ87、ターゲットTを支持するターゲットホルダ88、およびそのターゲットホルダ88を碍子Gを介して

支承するステージ89を主要構成要素とし、これらは真空チャンバ80内に収容されている。

【0024】液体金属イオン源81には加速電極91により正の電位が与えられ、この液体金属イオン源81と引き出し電極82との間には、両者間にイオン源81内のイオンを引き出すに十分な電位差が与えられる。

【0025】また、碍子Gによって他の構成要素に対して電気的にフローティング状態に支持されたターゲットホルダ88には減速電源92が接続されており、このターゲットホルダ88と、3枚電極構造を持つ静電レンズである対物レンズ87のターゲットホルダ88側の外部電極との間に、減速電場が形成されるようになっている。なお93は液体金属イオン源81を加熱するためのヒータ電源であり、94はシリンド等に装着されて同時にイオンビーム中に引き出されてイオンビーム電流をモニタするためのファラデーカップである。

【0026】以上の構成により、液体金属イオン源81から引き出されて加速されたイオンはコンデンサレンズ83によって集束されるとともに、次段のE×Bマスフィルタ84およびビームアバーチャ85によって所望イオンのみが選別され、更にその單一種のイオンからなるビームは偏向電極86を経て対物レンズ87によって更に集束され、微小スポットとなつターゲットホルダ88上のターゲットTの表面に結像するが、ターゲットTの直前に形成される減速電場によりイオンは減速され、結局、ターゲットTに到達するイオンビームは、加速電源91によるイオン源81の電位と、減速電源92によるターゲット電位との差分だけの最終エネルギーを以てターゲットTに到達する。

【0027】このような減速機能を持つ集束イオンビーム装置を用いて、図7(A)に示したカンチレバー2の自由端近傍の一点に、所望のイオン種からなるイオンビームを所定の低エネルギーに減速して連続照射することにより、図7(B)に示した微小針状突起3が得られる。例えば、集束イオンビームとしてAu⁺ビームを用いて、これを50eVのエネルギーでカンチレバー2の自由端近傍の一点に連続照射することにより、前記した図6(A)~(C)に示した過程により、高純度のAuを材質とする微小針状突起3が形成され、AFM用のカンチレバー型微小探針が得られる。

【0028】ここで、AFM用のカンチレバー型微小探針における微小針状突起をAuとすることは、被測定試料に対して化学的に不活性であり、被測定試料との間で一切の化学反応が生じないことを意味し、特に化学的に活性な試料の測定に際して有効である。また、比較的柔らかいので、被測定試料を傷つけることがなく、しかも酸化による導電性の劣化が生じないが故に、STMに用いた場合、寿命が長くなる、といった利点がある。

【0029】また、低エネルギー集束イオンビームとして、Co⁺, Co²⁺等の磁性体のイオンビームを用いれば

ば、AFM用センサと同様の構造を持つMFM(磁気力顕微鏡)用のカンチレバー型微小探針が得られる。すなわち、MFMでは、被測定試料と探針との間に作用する磁気力を一定量に保ちつつ探針を走査することにより、被測定試料の磁気分布を測定するが、その探針としては磁性体である必要があるが、本発明によってこのような探針としてAFM用センサと同等の構造のものが得られる。そして、このような磁性体の微小針状突起を有するカンチレバー型微小探針は、磁気ヘッドとしても用いることができ、現在知られている構造の磁気ヘッドに比して大幅な小型化を達成することができる。

【0030】本発明の製造方法において、微小針状突起3を構成する材料は以上の例に限られず、イオン化して集束イオンビームにすることのできる材料であれば任意の材料を用いることができる。また、複数種のイオン種からなる低エネルギー集束イオンビームを交互または同時に照射することにより、これらのイオン種の合金または化合物からなる微小針状突起3を形成することができる。現時点においてこのような集束イオンビーム化が可能な材料としては、上記のAu, Coのほか、Cu, Nb, Ti, Co, Ni, Fe, Ag, Al, Pd, Ptの金属、およびSi, Geの半導体が確認されており、従って本発明の製造方法においては、微小針状突起3の材質としてこのような元素を単体で、あるいは適宜に組み合わせた合金または化合物で作成することができる。

【0031】また、本発明のカンチレバー型微小探針は、その微小針状突起3の材質としては、上記した元素の単体あるいは合金または化合物のうち、従来実用化されているSiを除く全ての材質とすることができます。

【0032】このように微小針状突起3の材質のバリエーションを大きくすることは、被測定試料との組み合わせや測定しようとする物性との関連において、最適な材質の微小針状突起3を有するカンチレバー型微小探針を用いることを可能とし、各種SPMによる測定対象(試料、物性)を広げることができる。

【0033】ここで、上記した実施の形態においては、カンチレバー2の微小針状突起3の形成箇所を平坦面とした例を述べたが、カンチレバー2上の微小針状突起3を形成すべき位置を、あらかじめ盛り上がった形状としておいてもよい。

【0034】すなわち、図9に製造工程の説明図を示すように、まず、カンチレバー2の微小針状突起3を形成する位置に、同図(A)のようにあらかじめ盛り上がり部2aを形成しておく。これにより、図8に示した集束イオンビーム装置のターゲットホルダ8にカンチレバー2を支持したとき、図9(A)に等電位線Pを示すように減速場は当初から歪んだものとなる。この位置に低エネルギー集束イオンビームを連続的に照射すると、イオンの蒸着速度は、そのビームの密度分布と併せて盛り上がり部2aの中心部が周辺部に比して大きくなり、前

記した図6(B)の状態から集束イオンビームを照射した場合と同等の作用が得られ、その結果、図9(B)に示すように、盛り上がり部2aの上に先鋒な先端を持つ微小針状突起3'が得られる。

【0035】次に、以上の本発明方法の各実施の形態によって得られたカンチレバー型微小探針の微小針状突起3または3'に対して、追加工する方法について述べる。図10(A)に示すようなアスペクト比の大きなラングアンドスペース構造を持つ試料、これは光学グレーティングの典型的な構造であるが、このような試料をAFM観察する場合等においては、上記した本発明の製造方法によって得られた微小針状突起3または3'によっても、あるいは前記した従来の製造方法によって得られた微小針状突起によっても、AFM像の忠実度が低下する。すなわち、本発明の製造方法および従来の各製造方法により得られる微小針状突起の形状は、角錐または円錐に近い形状となる。このような錐形の微小針状突起により図10(A)のようなプロフィールを持つ試料を測定する場合、同図(B)に示すように、微小針状突起Nと試料とが干渉し、AFM像の忠実度が悪化する。このような場合、微小針状突起Nの形状をより柱状に近い形に追加工することで、図10(C)に示すように微小針状突起Nと試料との干渉を低減させ、AFM像の忠実度を改善することが可能となる。

【0036】このような追加工に際しては、従来、Gaイオンを用いたイオンミリング技術が採用され、その結果としてGaが不純物として微小針状突起に注入されてしまうことは前記した通りであるが、本発明では、微小針状突起Nの材質に含まれる元素のイオンを用いた集束イオンビームによるイオンミリングを行うことで、そのような不純物の混入を防止する。

【0037】図11にその追加工の例を示す。この例において、前記した本発明の製造方法によって作成した微小針状突起3が例えばAuである場合、イオンミリング用の集束イオンビームとして、エネルギー20keVのAu⁺イオンビームを用いる。この場合、図11(A)に示すように、微小針状突起3を形成したときの集束イオンビームよりもビーム径をより小さくし、図8に示した集束イオンビーム装置の偏向電極86によって、そのビームを円形に走査する。これにより、微小針状突起3は同図(B)に示すようにアスペクト比の高い柱状に加工され、図10(A)に示したような試料でもそのAFM像の忠実度が改善される。

【0038】この方法において特に注目すべき点は、微小針状突起3を構成する元素のイオンビームによりイオンミリングする点であり、これにより、イオンミリングに用いるイオンが微小針状突起3に注入されても不純物とならなくなり、追加工により微小針状突起3の純度が低下することがない。

【0039】また、このような微小針状突起の追加工の

他の形態として、前記した本発明方法により得た角錐または円錐状の微小針状突起 3 または $3'$ を、上記と同様に、そこに含まれる元素のイオンからなる集束イオンビームによって、例えばある特定の側面を削り取ることで非対称な形状に加工することもできる。

【0040】また、本発明の応用として、微小針状突起に意図的に特定の金属元素を不純物として注入することも可能である。すなわち、例えばSi製の微小針状突起に、AuやAl等の金属を注入し、導電性を高める等の応用が可能である。

【0041】

【発明の効果】以上のように、本発明方法によれば、低エネルギー集束イオンビームをカンチレバーの自由端近傍の一点に連続的に照射することによって、そこに微小針状突起を形成するから、集束イオンビームのイオン種として用いることのできる、殆ど全ての金属および半導体からなる微小針状突起を有するカンチレバー型微小探針を得ることができる。しかも、その微小針状突起は従来の方法のように母材から削りだすのではないため、材料の利用効率を大幅に向上させることができるとともに、高い純度の微小針状突起を持つカンチレバー型微小探針を得ることができる。

【0042】また、微小針状突起の材質の選択度が従来の製造方法に比して大幅に大となる結果、従来実用化されていない材料からなるカンチレバー型微小探針が得られ、例えば磁性体の微小針状突起を形成することによって磁気力顕微鏡用のプローブとして、あるいは磁気ヘッドとして使用可能なカンチレバー型微小探針を得ることができ、Auを用いることによって被測定試料に対して

化学的に不活性で、柔らかいために被測定試料を傷つけることなく、しかも酸化による導電性の劣化がないためSTMに用いて寿命の長いカンチレバー型微小探針が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のレプリカ法によるカンチレバー型微小探針の製造方法の一工程の説明図

【図2】同じく従来のレプリカ法によるカンチレバー型微小探針の製造方法の一工程の説明図

【図3】同じく従来のレプリカ法によるカンチレバー型微小探針の製造方法の一工程の説明図

【図4】従来のレプリカ法により得られたカンチレバー型微小探針の構造を示す斜視図

【図5】サイドエッティングを利用して従来のカンチレバー型微小探針の製造方法の説明図

【図6】本発明の製造方法の実施の形態における微小針状突起の形成過程の説明図

【図7】本発明の製造方法の実施の形態の工程説明図

【図8】本発明の製造方法に用いるのに適した集束イオンビーム装置の構成図

【図9】本発明の製造方法の他の実施の形態における微小針状突起の形成過程の説明図

【図10】微小針状突起の追加工の必要性の説明図

【図11】本発明の製造方法における微小針状突起の追加工を行う際の実施の形態の説明図

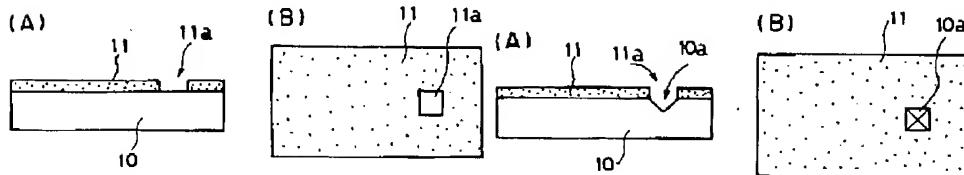
【符号の説明】

1 固定基板

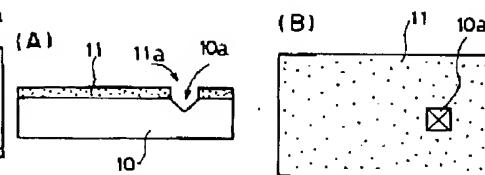
2 カンチレバー

3, 3' 微小針状突起

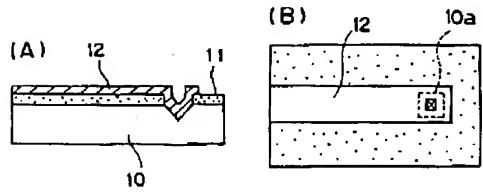
【図1】



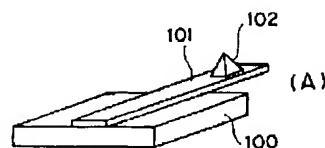
【図2】



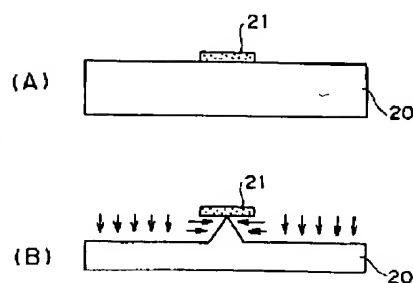
【図3】



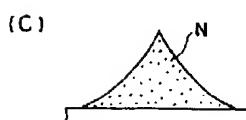
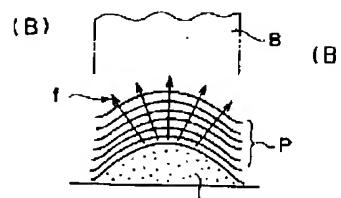
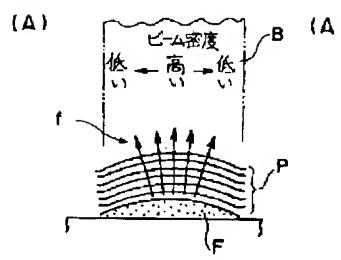
【図4】



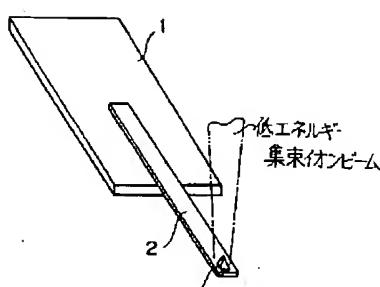
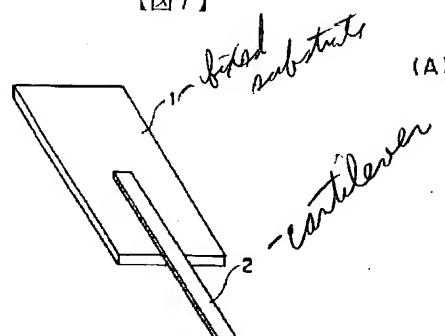
【図5】



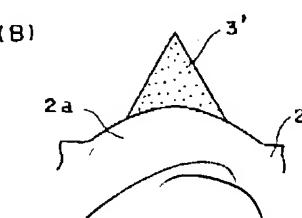
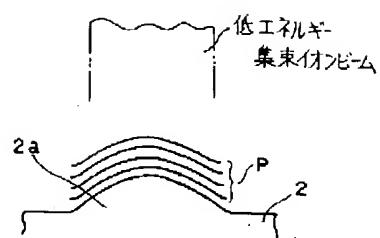
【図6】



【図7】

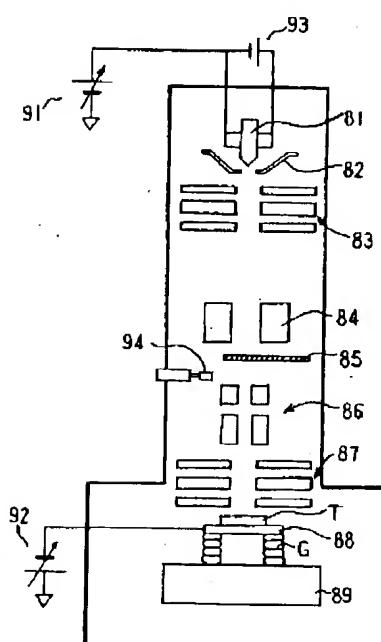


【図9】

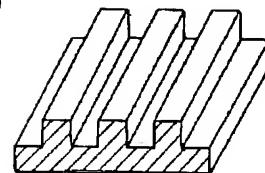


【図11】

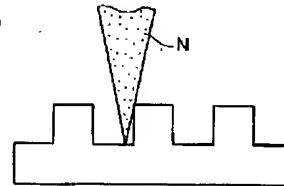
【図8】



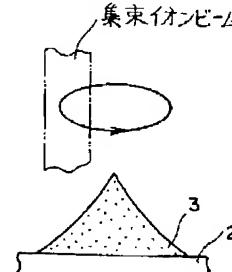
【図10】



(B)



(B)



(C)

